# 基于 SDWN 的负载感知终端多点关联方案研究 *

池亚平 [1,2]，李　晓 [1]，许　萍 [2]，杨建喜 [2]

(1. 西安电子科技大学，通信工程学院，西安 710071; 2. 北京电子科技学院，通信工程系，北京 100070)

**摘　要：**软件定义无线网络（SDWN）是一种控制与转发分离的无线网络架构。该架构可以快速获取全局拓扑并且其可编程性结合资源虚拟化技术可以对网络接入进行动态控制。针对现有 WLAN 网络接入负载不均衡问题及移动终端与 AP 硬关联导致的切换速度较慢的问题，基于 SDWN 架构提出了一种负载感知终端多点关联方案。该方案对 SDWN 网络架构下的终端接入算法进行改进，采用多点关联技术，即终端在感知 AP 负载数据后，可关联多个虚拟 AP，达到动态分流并提高网络吞吐量的目的。最后在 SDWN 的开源 Odin 平台上验证了方案的可行性，实验表明相比无缝切换至另一 AP，此方案可改变原有终端与 AP 接入一一对应的接入关系，根据 AP 负载动态接入，可有效提升网络吞吐量。

**关键词：**终端多点关联；负载感知；软件定义无线网络

**中图分类号：**TP393.02　　doi: 10.3969/j.issn.1001-3695.2017.12.0858

## Research on terminal multi-point association scheme based on load-aware in SDWN

Chi Yaping[1, 2],Li Xiao[1],Xu Ping[2], Yang Jianxi[2]

(1. *Xidian University*, *Xi'an* 710071, *China*; 2. *Beijing Electronics Science &Technology Institute*, *Beijing* 100070, *China*)

**Abstract:** Software Defined Wireless Network (SDWN) is a wireless network architecture that separates control plane and forward plane. It can get global topology quickly and its programmable combined with resource virtualization technology can control network access dynamically. In order to solve the problem of unbalanced load in existing WLAN and handover problem caused by the hard association between mobile terminal and AP, this paper proposes a terminal multi-point association scheme based on load-aware in SDWN. This scheme improves the seamless handoff algorithm between AP based on traffic load perception. When sensing AP load, the terminal can connect multiple virtual APs to achieve dynamic diversion. Finally, this scheme is verified on an experimental platform. Experiments show that this scheme changes the relationship between the terminal and the AP one by one compared to seamlessly switching to another AP, which effectively improves the terminal network throughput.

**Key words:** terminal multi-point association ; load-aware ; software defined wireless network



## 0　引言

近几年来，随着移动终端呈爆炸式增长，WLAN 的应用越来越广泛。但是现有 WLAN 存在以下几点不足：a)WLAN 下，移动终端一般基于信号强度（RSSI）选择 AP，但此算法容易造成某 AP 关联终端过多，而相邻 AP 无终端现象，浪费网络资源;b)WLAN 中，移动终端在 AP 之间的切换一般是硬切换，终端和 AP 间会有短时间的断开。这两点对用户服务质量（QoS）的影响较大，因此，解决上述问题迫在眉睫。

软件定义网络（software defined network，SDN）作为一种新型的网络架构，主要思想是将控制层和数据转发层分离[1]，使网络更为灵活可控。随着 SDN 思想的产生，学者们将 SDN 和 WLAN 相结合，用以解决 WLAN 中的问题，软件定义无线网络[2]（software defined wireless network, SDWN）应运而生。SDWN 拥有网络集中控制，可编程及可虚拟化等优点，可更好的解决现有 WLAN 的不足。

针对上述问题 a)，文献[2~5]均考虑了多种影响终端选择 AP 的因子;针对上述问题 b)，文献[6]提出了一种基于 SDN 的无线网络双网卡移交技术，但该技术需要对终端进行硬件改造。针对问题 a)b)，文献[7]提出了一种 SDWN 下基于流量负载感知的无缝切换算法，该算法可有效解决 AP 间负载不均衡问题。在此算法中，引入了虚拟接入点(light virtual access point,LVAP)的观点，主张采用虚拟接入点随着终端移动而“迁移”的策略实现移动性管理等网络优化工作。

**收稿日期：**2017-12-19；**修回日期：**2018-02-09　**基金项目：**中国科学院信息工程研究所中国科学院网络测评技术重点实验室开放课题资助；国家发改委信息安全专项（发改办高技［2015］289 号）；国家“863”计划资助项目

**作者简介：**池亚平（1969-），女，教授，硕士，主要研究方向为虚拟化安全、可信计算、加密技术、软件定义网络；李晓（1993-），女（通信作者），硕士研究生，主要研究方向为软件定义无线网络、网络虚拟化，云计算（328772303@qq.com）；许萍（1970-），女，副教授，硕士，主要研究方向为通信网络安全；杨建喜（1973-），男，讲师，博士，主要研究方向为空间信号处理技术、软件无线电、网络安全.

综上所述，本文在文献[7]的基础上，提出了终端多点关联方案，在感知 AP 负载的情况下，终端可连接多个虚拟接入点(LVAP)，达到动态分流并提升终端网络吞吐量的目的，最终解决 WLAN 下负载不均衡问题。

## 1　关键技术分析

### 1.1　负载感知技术研究

WLAN 中，移动终端在选择关联 AP 时，往往选择的是某个信号强度最强的 AP，但此选择方法容易导致某个 AP 关联终端过多，相邻 AP 无终端使用的情况，造成网络资源的极大浪费，也无法保证 QoS。文献[2~5]中，提出了将用户连接数目，信号强度带宽空闲率及传输错误率等作为终端选择 AP 的评估标准。文献[7]中扩展了传统 Odin[8]架构，在控制器中加入 AP 状态获取模块，AP 负载计算模块，AP 权重计算模块及切换因子模块，通过考虑 RSSI 及 AP 流量负载，可有效解决 AP 间负载不均衡问题。

### 1.2　虚拟化接入技术研究

WLAN 中，移动终端与 AP 之间的接入关联关系实质上是硬关联。由于是硬关联，在移动过程中，AP 必须断开与之前服务 AP 的连接，才能够重新寻找新的 AP 进行接入关联。随着 SDN 技术的发展，现如今在 WLAN 架构下，通过 AP 虚拟化的方法，在 AP 上为终端提供一对一的虚拟接入点（vitural access point,VAP）成为可能。文献[9]提出基于多信道的虚拟接入点接入方法，该方法需要物理 AP 之间相互存储相邻接入点的信息，如 IP 地址，MAC 地址等，物理 AP 不仅需要存储产生 VAP 的信息，还要记录其他 AP 的信息，不利于网络管理。文献[6]提出了一种基于 SDN 的无线网络单网卡移交设计，将数据流重定向至客户端新的位置，从而实现用户跨网段漫游无中断。但是该方法需要修改每一条数据流，工作量巨大。

在多点接入方面，文献[10]提出在 IP 层和 MAC 层引入一个中间层，对无线网卡进行虚拟化，利用算法使无线网卡在不同网络之间来回切换。但是此方法也需要修改终端。文献[11]对终端网卡进行虚拟化实现多点接入，提高终端服务质量。

综上所述，目前移动终端与虚拟 AP 之间的关系大多都是硬件关联，需要对硬件进行改造，不利于大规模部署。对于虚拟接入点的管理也成为关键性问题。本文基于 SDWN 网络架构，提出一种基于负载感知的终端多点关联技术，在得知 AP 负载的情况下，利用控制器与 AP 之间的交互过程，使一个终端对应多个虚拟 AP 成为可能，达到动态分流并提升终端网络吞吐量的目的，解决了 WLAN 下负载不均衡问题。

## 2　基于 SDWN 的负载感知终端多点关联方案

### 2.1　主要应用场景

相比较传统的网卡虚拟化思想，本文采用的方案为轻量级虚拟化思想：即在 SDWN 架构下，通过虚拟 BSSID 进行无线资源虚拟化。文献[7]提出了一个扩展 Odin 架构，在该架构中，AP 端加入 Click 软路由系统[12]，可实现物理 AP 虚拟化：通过 AP agent（click）将探测请求发送给控制器，控制器分配虚拟 BSSID（虚拟 AP）给物理 AP，并指导 AP 代理利用该虚拟 BSSID 给终端回应探测请求。

在该架构中，在负载均衡算法执行前，终端与虚拟 AP 一一对应（如图 1(a)），同时屏蔽物理 AP 本身的 BSSID。在感知负载后，根据负载情况进行无缝切换，将终端对应虚拟 AP“迁移”至相邻负载小的物理 AP（负载均衡算法执行后，图 1(b)）。

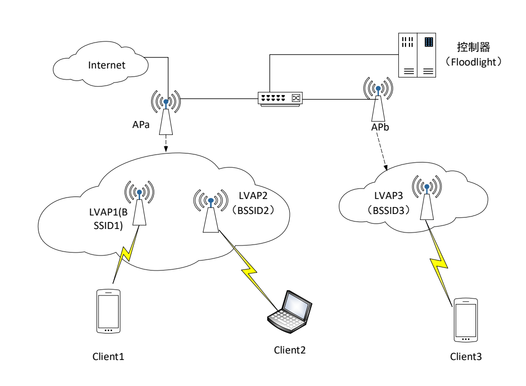



图 1(a)基于 SDWN 的负载感知 AP 间无缝切换场景（负载均衡前）

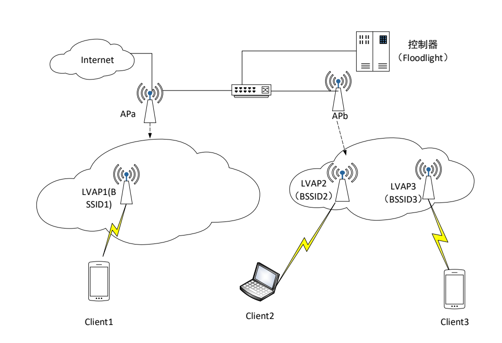



图 1(b)基于 SDWN 的负载感知 AP 间无缝切换场景（负载均衡后）

本文在此思路上进行改进：在多个 AP 部署的环境中，感知 AP 负载的情况下，若需要将某终端切换到相邻 AP 时，在能够感知该终端信号的 AP 上分别建立相同的虚拟 AP，为终端提供一个或多个虚拟接入点，实现负载均衡的目的，过程如图 2a（负载均衡前的多点接入情况）和图 2b（负载均衡后的多点接入情况）。

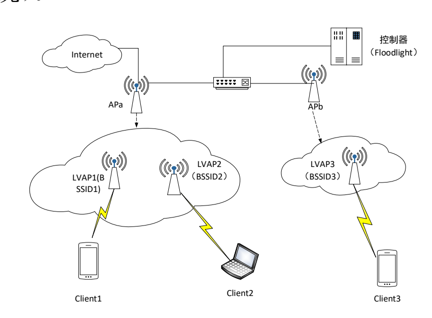



图 2(a)基于 SDWN 的负载感知的终端多点关联方案应用场景（负载均衡前）

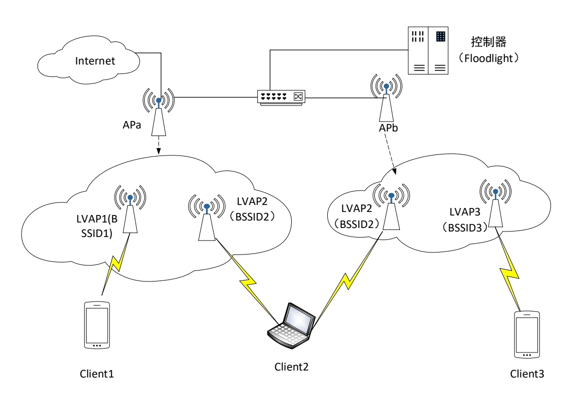



图 2(b)基于 SDWN 的负载感知的终端多点关联方案场景（负载均衡后）

## 2.2　终端多点关联方案设计

### 2.2.1 终端多点关联信令流程设计

基于 SDWN 的负载感知终端多点关联方案信令流程如图 3 所示，具体描述如下：

a)控制器向每个 AP 发 subscription-AP-status 帧来请求 AP 参数。

b)当 Client 在 AP 重叠区时，当前连接 AP 与客户端之间的信号强度随 client 动态移动，且该终端的瞬时流量及平均流量也在动态变化当中，控制器根据定期返回的 new-AP-status 帧中的状态信息，根据负载因子计算模块，计算出该 AP 是否负载严重。

c)若该 AP 负载严重，控制器在所有上传该 client 状态信息（即所有能够收到终端信号）的 AP 中，向物理 AP 中的 AP agent 发送产生该终端对应 LVAP 副本的命令，完成多点接入。

d)完成多点关联后，根据不同的动态分流方案将该终端上的数据流分 AP 转发，达到动态分流的目的，完成负载均衡。

至此结束了负载均衡感知、终端多点接入及动态分流全过程。

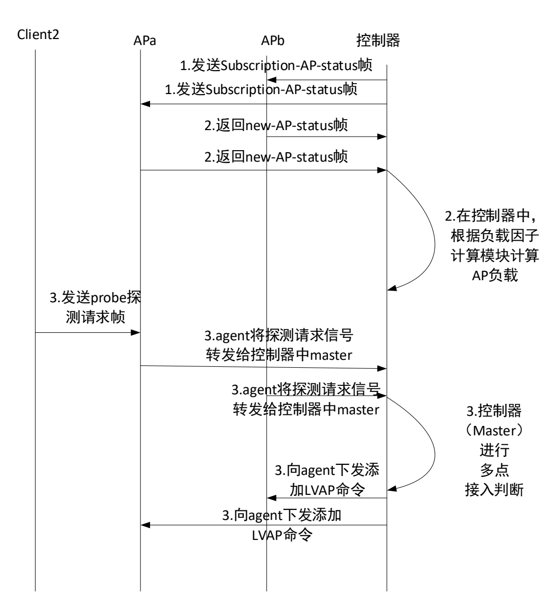



图 3 终端多点关联方案信令流程

### 2.2.2 多点关联流程设计

步骤 a)b)的负载感知及负载因子计算模块在文献[7]中有详细描述，本文不再赘述。步骤 c)中，具体实施办法如图 4 所示。控制器中加入 AP agent 管理模块，将上传该 client 信息的所有 agent 组件放入 AP agent 管理模块的一个集合当中。当控制器感知需要负载均衡时，在该集合中取出 agent 并且下发添加该终端唯一 LVAP 的命令。

本文中，利用结构体表示某一终端 x-client 的信息（MAC 地址，LVAP（BSSID,SSID），IP 地址等），采取多对多的一种映射关系表示 LVAP 与 AP 之间的关系。set<X-AP agent>表示该终端所属 AP 的集合，set<X-LVAP>表示某一物理 AP 中包含 LVAP 的个数集合。

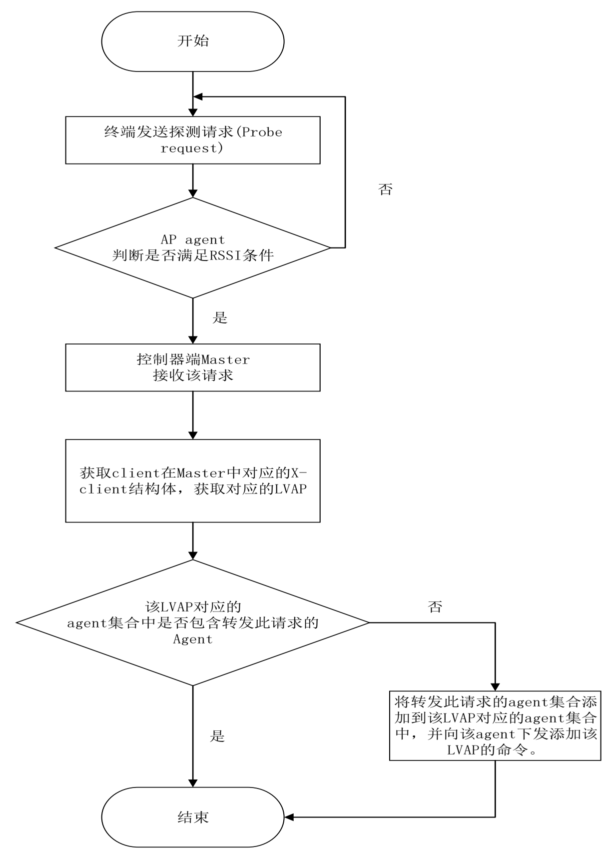



图 4　多点关联流程

## 2.3　动态分流应用方案

有别于传统的单点 AP 转发所有类型的数据流，实现终端多点关联后，多个物理 AP 中都拥有可传输终端数据的唯一一个 LVAP。但是如何充分利用 LVAP，对终端的数据流进行动态分流，达到负载均衡的目的成为了一个关键问题。本文根据 Openflow1.3 协议，将数据流根据传输层协议分为基于 TCP 的数据流和基于 UDP 的数据流。在实际应用中，用户可根据自己的需求自定义任何数据流分流标准。

SDN 下，Openflow 流表包含三部分：匹配域、计数器和操作集[13]。在本方案中，控制器 floodlight 有两种流表下发模式：主动和被动。本文采取主动方式，即控制器主动下发流表，数据包达到交换机后和流表匹配并执行流表操作。控制器根据不同需求对对物理 AP 中的 OpenVswitch 下发不同的流表。在本文中，流表根据匹配域关键字 ip_proto 将基于 TCP 流和基于

UDP 流进行区分，其中 ip_proto=0X12 为 TCP 流，ip_proto=0X05 为 UDP 流，具体流表如表 1 所示，控制器下发命令如下：

curl－d’{"switch":"00:00:72:d8:c8:dd:5c:fg","name":"TCP-flow","cookie":"1","priority":"410","in_port":"2","eth_type":"0x0800","ip_proto":"0x12","nw_src":"192.168.1.167","nw_dst":"192.168.1.137","tp_src":"3010","tp_dst":"3016","active":"true","actions":"output=5"}http://<control_ip>8080/wm/Staticflowpusher/json。

在实际运用中，由于每条流表中都有源地址，目的地址等 12 元组匹配域，针对每个终端可设置不同流表，可实现根据每个终端的需求动态分流，以此提升网络吞吐量目的。本文具体分流方案如图 5 所示。

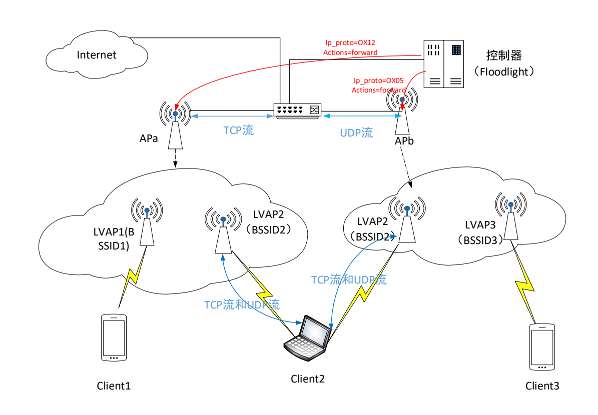



图 5　动态分流方案

## 3　实验结果分析

### 3.1　实验平台搭建

本文通过搭建实验平台验证基于 SDWN 的负载感知终端多点关联方案对用户服务质量的影响。软硬件如表 1 和 2 所示。

表 1　动态分流之 TCP 流表

| 注：json 格式/OpenFlow1.3 | |
|---|---|
| Flow= { | |
| "switch":"00:00:72:d8:c8:dd:5c:fg", //DPID，链路标识 | |
| "name":"TCP-flow", | //流名称 |
| "cookie":"1", | //cookie |
| "priority":"410", | //流表优先级 |
| "in_port":"2", | //数据包入端口 |
| "eth_type":"0x0800", | //IP 类型包 |
| "ip_proto":"0x12", | //TCP 包 |
| "nw_src":"192.168.1.167", | //源 IP 地址 |
| "nw_dst":"192.168.1.137", | //目的 IP 地址 |
| "tp_src":"3010", | //源端口号 |
| "tp_dst":"3016", | //目的端口号 |
| "active":"true", | //执行动作 |
| "actions":"output=5" | //从 5 端口转发 |
| } | |

表 2 Odin 软件设备构成图

| 软件名称 | 软件版本 |
|---|---|
| floodlight | Floodlight1.2 |
| Openvswitch 软交换 | Openvswitch2.3.0 |
| Click 软路由 | Click2.0.1 |

表 3 Odin 硬件设备构成图

| 硬件名称 | 型号 | 系统版本 |
|---|---|---|
| AP | Wndr3700/wndr3800 | Openwrt barrier breaker 14.07 |
| 移动终端 | Acer 5420<br>IPhone 6，Acer5570 | Ubuntu 16.04 |
| 控制器 | 联想 | Ubuntu16.04 |

### 3.2　实验验证及性能评估

本次实验目的是比较传统 WLAN、SDWN 架构下基于负载均衡的无缝切换算法及 SDWN 架构下基于负载感知的终端多点关联三种接入方案对终端 QoS 的影响。

实验场景如图 1（a）所示。由于本文在文献[7]基础上做出改进，因此对负载均衡模块引用此文献算法。参数设置如下：本文所有 client 均对平均流量要求较高且 M 值取 2（经过 5 次实验取平均值）。client1、client2 连接 APa，client3 连接 APb。在当 client2 位于 APa 与 APb 的重叠区域并略靠近 APa 时，client1 的 TCP 吞吐量为 5Mbit/s、client2 的 TCP 吞吐量为 5Mbit/s，client3 的 TCP 吞吐量为 6Mbit/s，此时 APa 的负载大于 APb 的负载，且 RSSIa>RSSIb。在 30s 时，传统 WLAN 连接环境下不进行 AP 切换，此时 client1、client2 的吞吐量较低，用户服务质量未受到保障，如图 6 和 7 中蓝色虚线所示。

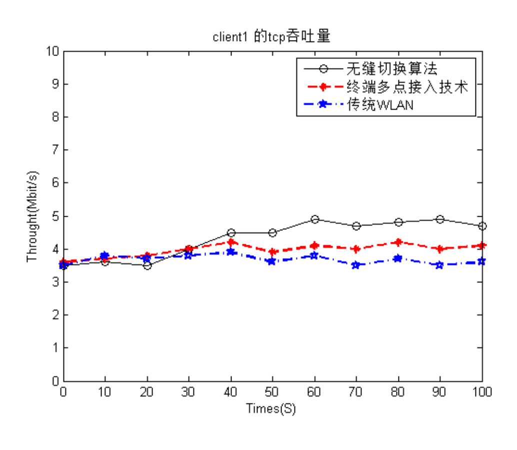



图 6 client1 的 TCP 吞吐量

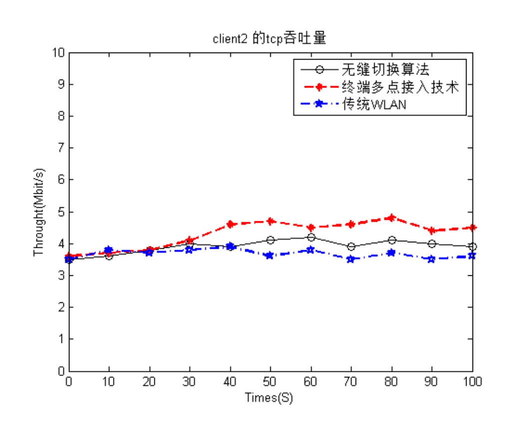



图 7 client2 的 TCP 吞吐量

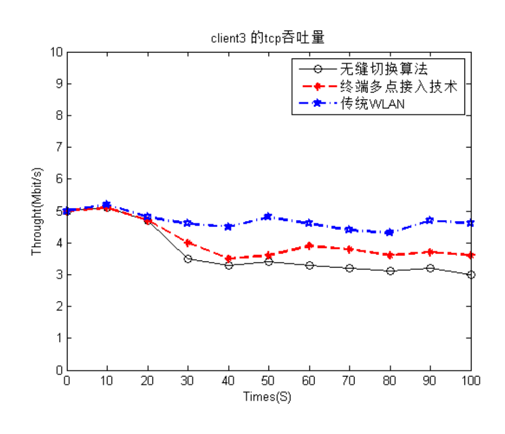



图 8 client3 的 TCP 吞吐量

SDWN 架构下基于负载感知的无缝切换算法根据负载均衡模块无缝切换到 APb，切换到 APb 后，client1 的吞吐量提高明显，但 client2 因切换到 APb,和 client3 共享带宽，因此 client2 的吞吐量提高不明显且 client3 的吞吐量受到了一定的影响，各终端吞吐量如图 6~8 中白色圆点线所示；在 SDWN 架构下根据负载均衡模块计算后实施多点关联方案，在 30 s 之后 client1 与 client2 的吞吐量得到提升，但 client3 的吞吐量也未受到较大影响，结果如图 6~8 红线所示。

综上所示，在重叠区域，本文的终端多点关联技术在文献[7]的基础上做出改进，相比传统 WLAN 下及文献[7]的无缝切换算法，可有效提升终端的用户服务质量，并减少对相邻终端影响，达到本文目的。

## 4 结束语

本文提出了一种面向软件定义无线网络（SDWN）的负载感知终端多点关联方案,在文献[7]的基础上提出终端多点关联方案，在扩展 Odin 架构上通过实验对比了终端多点关联方案和传统单点接入方案对用户服务质量的影响，在网络吞吐量方面对比了每个连接终端的服务质量，验证了本文方案的有效性。

## 参考文献：


[1] Open Network Foundation (ONF) . Software defined networking: the new norm for networks [EB/OL]. (2012-04-20) [2015-02-12]. https://www.opennetworking. org/images/stories/downloads/sdn-resources/white-papers/wp-sdn-newnorm. pdf.

[2] Han Yunong, Yang Kun, *et al.* An adaptive mobility manager for software-defined enterprise WLANs [C]// Proc of the8th International Conference on Ubiquitous and Future Networks. 2016: 888-893

[3] Anil K R, Baldaniya H B, *et al.* Load-aware hand-offs in software defined wireless LANs [C]// Proc of the 10th IEEE International Conference on Wireless and Mobile Computing, Networking and Communications. 2014: 685-690

[4] Li H Y, TseTsung Y, *et al.* SNMP-based approach to load distribution in ieee 802. 11 networks [C]// Proc of the 63rd, IEEE Vehicular Technology Conference. 2006: 1196-1200.

[5] 李云，周亚峰，曹傧. 基于软件定义网络的 WLAN 架构及负载均衡切换 [J]. 重庆邮电大学学报, 2016, 28 (5): 614-619

[6] 候喆. 基于软件定义网络的无线网络移交技术研究 [D] 北京：北京邮电大学 2015.

[7] 李晓，杨建喜，池亚萍，等. SDWN 下基于流量负载感知的 AP 间无缝切换算法研究 [J]. 计算机应用研究, 2018, 35 (10) .

[8] Suresh L, Schulz Zander J, Merz R, *et al.* Towards programableenterprise WLANS with Odin [C]// Proc of the 1st Workshop on Hot Topics in Software Defined Networks. New York: ACM Press, 2012: 115-120.

[9] Berezin M E, Rousseau F, Duda A. Multichannel virtual access points for seamless handoffs in ieee 802. 11 wireless networks [C]// Procd of the 73rd Vehicular Technology Conference. 2011: 1-5.

[10] Chandra R, Bahl P, Bahl P. MultiNet: connecting to multiple IEEE 802. 11 networks using a single wireless card [C]. Proc of IEEE INFOCOM. 2004: 882-893.

[11] Ahn S W, Yoo C. Network interface virtualization in wireless communication for multi-streaming service [C]// Proc of IEEE International Symposium on Consumer Electronics. , 2011: 67-70.

[12] Kohler E, Morris R. The click modular router [J]. ACM Trans on Computer Systems, 2000, 18 (3): 263-297.

[13] Adrian L, Anisha K, *et al.* Network Innovation using openflow: a survey [J] IEEE Communications Surveys & Tutorials, 2014, 16: 493 – 512